

Ein Weg zu automatisiertem Infrastrukturmanagement

C. Kielhauser | B. Adey

DOI: <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201805141058-0>

Dipl.-Ing. Clemens Kielhauser und Prof. Dr. Bryan T. Adey
Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement
ETH Zürich
kielhauser@ibi.baug.ethz.ch

Inhalt

1	Einleitung	116
1.1	Allgemein.....	116
1.2	Infrastruktur	116
1.3	Infrastrukturmanagement.....	117
2	Prozess.....	118
2.1	Festlegung von Servicelevelzielen und Rahmenbedingungen	118
2.2	Aufbau von Strukturen, Prozessen, Modellen und Strategien	119
2.3	Überwachungsprogramme erstellen	122
2.4	Überwachungstätigkeiten durchführen.....	122
2.5	Maßnahmenprogramme erstellen	122
2.6	Maßnahmen planen und durchführen	124
2.7	Effektivitätsanalyse	124
2.8	Prozessanalyse	124
3	Zusammenfassung	124

1 Einleitung

1.1 Allgemein

Mit zunehmender Professionalität im Bereich des Infrastrukturmanagements versuchen immer mehr Forscher und Softwareentwickler, den Prozess ganz oder teilweise zu automatisieren. Einige Beispiele für Frameworks und Prozesse, die dies fördern sollen, sind,^{1,2}. Einige Beispiele für Werkzeuge für verschiedene Infrastrukturtypen finden sich in³. Viele dieser Bemühungen bleiben jedoch hinter den Erwartungen in Bezug auf die Automatisierung zurück und führen dazu, dass große Summen für Software ausgegeben werden, die unter den Möglichkeiten, für die sie gedacht war, eingesetzt wird. Dies geschieht in vielen Fällen, weil es den Infrastrukturmanagern an einem, für alle Beteiligten akzeptablen, vollständigen Prozess mangelt, der für das Management von Infrastruktur verwendet werden soll. Unvollständige Frameworks und Prozesse sind in bestimmten Situationen nützlich, scheitern aber oft an der Komplexität der Entscheidungsfindung in der Praxis. In diesem Beitrag wird ein kompletter Prozess auf hohem Niveau vorgestellt, der die Automatisierung der Infrastruktur ermöglicht. Dieser sollte von Infrastrukturmanagern genutzt werden, die ihren eigenen, detaillierteren Prozess einrichten, um sicherzustellen, dass sich alle Beteiligten über die beteiligten Teilprozesse und die Gründe dafür einig sind. Die Verwendung dieses Prozesses zur Entwicklung detaillierterer Prozesse wird dazu beitragen, dass die weiteren Anstrengungen zur Automatisierung des gesamten oder eines Teils des Infrastrukturmanagements nützlich sein werden. Der Rest der Einleitung enthält eine Definition von Infrastruktur und Infrastrukturmanagement.

1.2 Infrastruktur

Infrastruktur besteht aus Objekten⁴, die zur Sicherstellung des Funktionierens des Infrastrukturnetzwerkes verwendet werden. Der Lebenszyklus eines Objektes ist in Abbildung 1 dargestellt, wobei jedes Objekt zu jedem Zeitpunkt gebaut, genutzt, betrieben, gewartet, entwickelt oder abgerissen wird. Wo sich ein Objekt in seinem Lebenszyklus befindet, hängt von seiner Fähigkeit ab, ein angemessenes Servicelevel (SL) bzw. das erforderliche SL bereitzustellen. Beides ändert sich mit der Zeit. Die angebotenen SL ändern sich durch die Zustandsverschlechterung. Erforderliche SL ändern sich aufgrund von Anforderungsänderungen. Dies ist in Abbildung 2 dargestellt.

¹ OECD (2001)

² ISO55001 (2014)

³ Adey/Klatte/Kong (2010)

⁴ Die Verwendung des Wortes Objekt soll eine begriffsneutrale Definition ermöglichen. Ein Netzwerk besteht beispielsweise aus Objekten, Objekte aus Elementen und Elemente aus Segmenten. In einem solchen Fall könnte das Wort Objekt in jeder der drei Definitionen entweder durch das Wort "Netzwerk", "Element" oder "Segment" ersetzt werden.

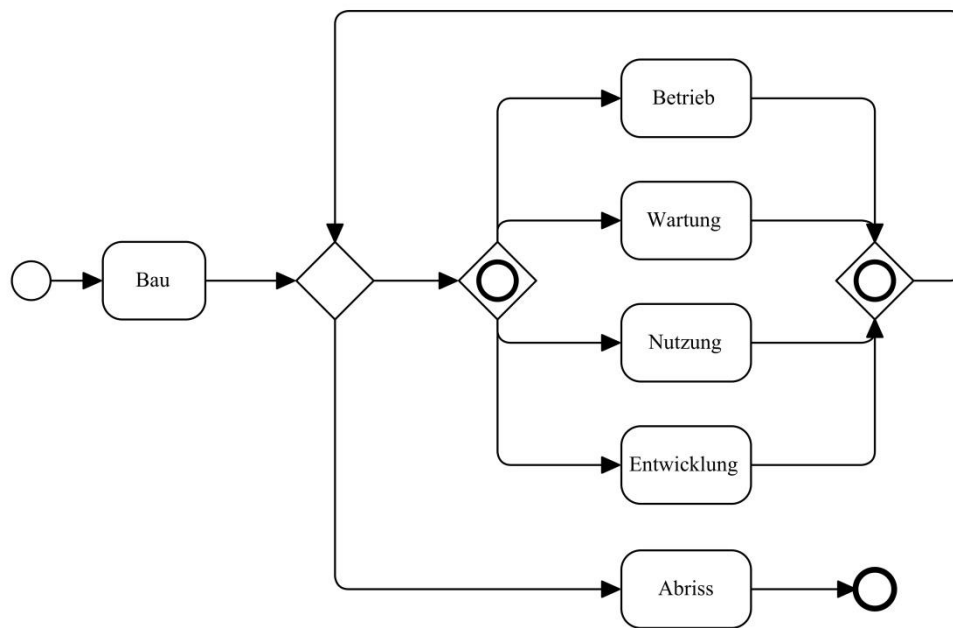


Abbildung 1: Infrastrukturobjekt-Lebenszyklus⁵

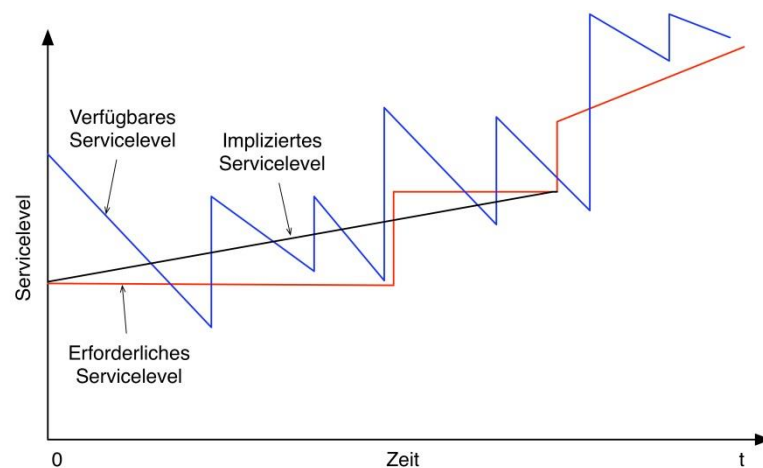


Abbildung 2: Servicelevelverlauf über die Zeit⁶

1.3 Infrastrukturmanagement

Das Infrastrukturmanagement (IM) ist der Prozess, mit dem sichergestellt werden soll, dass vorhandene Infrastrukturen für bestimmte Zeiträume ein angemessenes SL bieten. Ein gutes IM erfordert die Berücksichtigung des Nutzens und der Kosten für alle Mitglieder der Gesellschaft, einschließlich des ökonomischen, ökologischen und sozialen Nutzens und der Kosten, sowie die Abwägung der Notwendigkeit von Prognosegenauigkeit und Analyseaufwand.

⁵ Adey (2017)

⁶ Adey (2017)

Das IM umfasst alle Phasen des Lebenszyklus von Infrastrukturobjekten, wie in Abbildung 1 dargestellt.

Das Ziel des IM ist es, optimale Maßnahmenprogramme⁷ zu bestimmen, d.h. die Maßnahmen⁸, die durchgeführt werden müssen, um den Stakeholdern⁹ den maximalen Nettonutzen zu bieten. Die Umsetzung dieser Programme gewährleistet einen optimalen Kompromiss zwischen den Kosten für die Maßnahmendurchführung und den Kosten, wenn keine Maßnahmen durchgeführt werden. Maßnahmen sind erforderlich, um die Verschlechterung auszugleichen, um sicherzustellen, dass die Infrastruktur weiterhin das SL bietet, für das sie ursprünglich vorgesehen war, und um die Infrastruktur so anzupassen, dass sie ein neues SL bieten kann.

Der auf dieser Ebene definierte IM-Prozess ist für alle Arten von Infrastruktur gleich und unabhängig vom Automatisierungsgrad des Prozesses. Damit er in der heutigen Welt jedoch effektiv ausgeführt werden kann, ist der Einsatz moderner Technologien erforderlich.

2 Prozess

Der Prozess des IM ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Aufgaben werden jeweils in den folgenden Abschnitten erläutert. Die Geschwindigkeit und Häufigkeit, mit der dieser Prozess abläuft, ist je nach Organisation unterschiedlich.

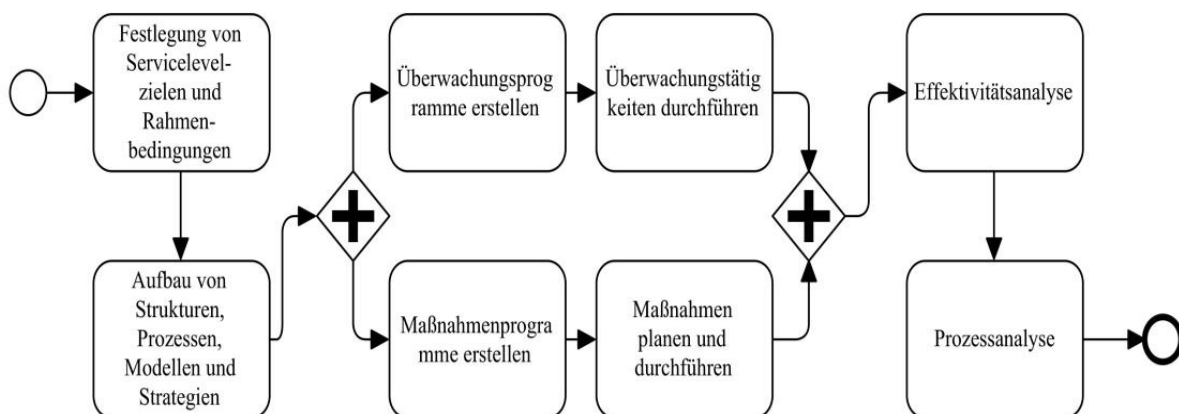


Abbildung 3: Infrastrukturmanagementprozess¹⁰

2.1 Festlegung von Servicelevelzielen und Rahmenbedingungen

Dieser Teilprozess wird verwendet, um festzulegen, was bei der Festlegung des zu befolgenden Maßnahmenprogramms maximiert (z.B. Fahrzeuge pro Stunde) oder minimiert (z.B. Unfälle pro Jahr) und was eingehalten werden muss (z.B. Budget). Es ist ein iterativer

⁷ Maßnahmenprogramm - Eine Liste von Maßnahmen, die über einen definierten Zeitraum durchgeführt werden sollen.

⁸ Maßnahmen - Eine Gruppe von Aktivitäten, die gleichzeitig an der Infrastruktur durchgeführt werden sollen.

⁹ Stakeholder - Eine Gruppe von Personen, die vom Management der Infrastruktur betroffen sind, z.B. Eigentümer, Nutzer und Öffentlichkeit.

¹⁰ Adey (2017)

Prozess, der die Anforderungen und Wünsche aus verschiedenen Quellen zusammenführt und zu einem gemeinsamen Satz von Zielen und Rahmenbedingungen zusammenführt, Konflikte beseitigt oder deutlich macht, wie Kompromisse erzielt werden können. Dabei werden Anforderungen und Wünsche aus allen Quellen berücksichtigt, unter anderem aus Normen und Gesetzen, Politik, Generalbudgets und genereller Raumplanung, Betriebsanforderungen, Anforderungen aus dem Neubau, Anforderungen aus dem Abriss. Dabei geht es um die Frage, was die Infrastrukturverwaltungsorganisation anbieten kann oder möchte, und um die Frage, welche Akteure betroffen sind, z.B. Nutzer, oder direkt/indirekt betroffene Personen (selbst keine Nutzer). Dies kann eine erhebliche Interaktion zwischen mehreren Akteuren erfordern und beinhaltet oft den Umgang mit Interessensgruppen, sowie die Berücksichtigung von Gesetzen.

Um sicherzustellen, dass alle Ziele und Rahmenbedingungen in jedem Fall berücksichtigt werden (manchmal werden sie nicht explizit angegeben), ist es sinnvoll, eine Kostenhierarchie zu erstellen, die alle zu messenden Dinge auflistet. Sie sollte auf allgemeine Wünsche eingehen, wie z.B. Fahrzeiten, Unfallkosten, etc. Es sollte auch klar sein, wie die Kosten in der Praxis zu messen sind, d.h. welche SL-Indikatoren zu verwenden sind.

Um vernünftige SL-Ziele und Rahmenbedingungen festzulegen, ist es sinnvoll, fundierte Vorhersagen darüber zu haben, was in der Zukunft passieren kann, z.B. wie sich die Fähigkeit der Infrastruktur, den erforderlichen SL bereitzustellen, ändern wird bzw. wie sich der erforderliche SL selbst ändert. Dieser SL ist gekoppelt mit der Höhe der Kosten, die erforderlich sind, um in die Infrastruktur einzugreifen, um sicherzustellen, dass sie einen angemessenen SL bietet, und was passiert, wenn sie nicht verfügbar ist. Die SL-Ziele und Rahmenbedingungen werden in der Regel für bestimmte Zeiträume, z.B. 5 Jahre, definiert.

2.2 Aufbau von Strukturen, Prozessen, Modellen und Strategien

Dieser Teilprozess legt die Situation fest, in der Überwachungs- und Maßnahmenprogramme aufgebaut werden sollen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Strukturen, Prozesse und Modelle ¹¹

Element	Abdeckung	Inhalt
Struktur	Beständige Aspekte der Situation	<p>Die Struktur</p> <ul style="list-style-type: none">• der IM-Organisation selbst,• der zu verwendenden Informationen (manchmal auch als Infrastrukturmodell bezeichnet), und• der Dinge, die bei der Festlegung der optimalen Überwachungs- und Massnahmenprogramme, d.h. der Kostenhierarchie, zu berücksichtigen sind.

¹¹ Adey (2017)

Prozesse	Dynamische Aspekte der Situation	Die zu verwendenden Prozesse für <ul style="list-style-type: none"> • die Service-Level-Indikator Vorhersage, • die Bestimmung der Überwachungsstrategien und -programme, • die Bestimmung der Maßnahmenstrategien und -programme, • die Wirksamkeitsüberprüfung der Überwachungen und Maßnahmen, und • die Effektivitätsüberprüfung des IM-Prozesses.
Modelle	Verwendete Modelle	Die zu verwendenden Modelle zur Vorhersage über zukünftige Zustände, z.B. <ul style="list-style-type: none"> • das zukünftig erforderliche Serviceniveau, • die zukünftige Leistungsfähigkeit, • die zustandsbedingten zukünftigen Kosten, und Modelle zur Bestimmung von optimalen Strategien und Programmen, z.B. <ul style="list-style-type: none"> • optimale Überwachungsstrategien, • optimale Maßnahmenstrategien, • optimale Überwachungsprogramme, und • optimale Maßnahmenprogramme

Es ist vorteilhaft, die Vorhersagemodelle nach der Prozessgeschwindigkeit zu gruppieren, d.h. graduell und plötzlich. Ein gradueller Prozess ist ein Prozess bei dem genügend Zeit für eine Maßnahme bleibt, um weiterhin ein angemessenes SL sicherzustellen. Ein plötzlicher Prozess ist ein Prozess, bei dem nicht genügend Zeit für eine Maßnahme bleibt, um weiterhin ein angemessenes Serviceniveau anzubieten. Ein Beispiel für einen allmählichen Prozess ist chloridinduzierte Stahlbetonkorrosion, ein Beispiel für einen plötzlichen Prozess ist ein Erdbeben.

Beliebte Modelle für graduelle Prozesse sind analytische Modelle, Regressionsmodelle und Markovmodelle. Analytische Modelle werden zum Beispiel verwendet, um die Chlorideindringungsgeschwindigkeit in Stahlbetonbrücken, den Beginn der Korrosion und die Bewehrungsquerschnittreduktion vorherzusagen. Beliebte Modelle für plötzliche Prozesse sind Ereignisbäume¹², Fehlerbäume¹³ und Bayes'sche Netzwerkmodelle¹⁴.

¹² z.B. Adey/Hajdin/Birdsall (2009)

¹³ z.B. Johnson (1999)

¹⁴ z.B. Deublein et al. (2015)

Beliebte Modelle zur Bestimmung optimaler Strategien und Programme können in mathematische Standardmodelle, wie *block replacement*¹⁵, oder spezifische mathematische Modelle zur Lösung spezifischer Probleme gruppiert werden.

Der Begriff „Strategien“ umfasst sowohl die Festlegung der zu verfolgenden Überwachungsstrategien als auch der Maßnahmenstrategien für jede Art von Infrastrukturobjekten. Diese werden im folgenden Abschnitt näher erläutert.

Zu den Überwachungsstrategien gehören alle Überwachungsaktivitäten, die an Objekten unter Berücksichtigung vieler möglicher Objektzustände durchgeführt werden. Diese werden unabhängig von ihrem Istzustand ermittelt. Bei der Entwicklung sind das Spektrum der möglichen Tätigkeiten, die Wirksamkeit, und die damit verbundenen Kosten zu berücksichtigen. Überwachungsstrategien werden ohne Berücksichtigung von externen Faktoren entwickelt.

Die Aufgabe der Entwicklung und Bewertung von Überwachungsstrategien besteht darin, zu definieren wie die gesammelten Informationen zu berücksichtigen sind und wie diese Informationen für die Entwicklung von Maßnahmenprogrammen genutzt werden. Dazu gehört auch die Abschätzung der Kosten, die mit der Durchführung der Überwachungstätigkeiten verbunden sind, ihre Auswirkungen auf das SL, ihre Dauer und der Wahrscheinlichkeit, dass sie Informationen wie beabsichtigt liefern, sowie der Folgen, falls nicht.

Maßnahmenstrategien umfassen alle Eingriffe, die an einem Objekt durchzuführen sind, wobei viele mögliche Zustände des Objekts oder viele mögliche Situationen, in denen sich das Objekt befinden könnte, berücksichtigt werden. Wenn z.B. Risse im Fahrbahnteil eines Straßenabschnitts vorhanden sind, sollten diese verfüllt werden, und wenn Risse und erhebliche Unebenheiten vorhanden sind, sollte ein partieller Ersatz durchgeführt werden. Maßnahmenstrategien werden ohne Berücksichtigung von externen Faktoren entwickelt.

Die Aufgabe, Maßnahmenstrategien zu entwickeln und zu bewerten, besteht darin, die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Gegenwart und die Zukunft zu berücksichtigen. Wenn es beispielsweise um die Tragfähigkeit geht, kann der Einbau einer neuen Betonschicht auf einem Stahlbetonbauteil sowohl das gegenwärtige als auch das zukünftige Verhalten des Bauteils beeinflussen, und der Einbau einer Abdichtungsschicht auf einem Brückendeck kann nur für die Zukunft betrachtet werden. Es beinhaltet auch die Abschätzung der Kosten, die mit der Maßnahmendurchführung verbunden sind, ihrer Auswirkungen auf das künftige Serviceniveau, ihrer Dauer und der Wahrscheinlichkeit, dass sie wie beabsichtigt funktionieren, sowie der Folgen, wenn nicht.

Die Generierung möglicher Maßnahmenstrategien erfordert fundiertes, anlagenspezifisches Wissen und gute Fachkräfte sowie Organisationen mit Strukturen, die sowohl Kooperation als auch Innovation fördern.

Die Bewertung der möglichen Strategien und die Ermittlung der optimalen Strategie erfordern eine gute Grundlage in Entscheidungstheorie und die Fähigkeit, zu modellieren, wie sich die Kosten für jede der Strategien im Laufe der Zeit verändern werden. Einige Modelle zur Bewertung von Strategien sind üblich, wie z.B. *block replacement*, *age replacement* und

¹⁵ z.B. Adey/Lethanh/Kielhauser, (2014b)

Markovmodelle.¹⁶ Andere sind maßgeschneidert, um spezifische Fragen zu beantworten. Bei der Bewertung von Strategien müssen sowohl die Kosten während der Maßnahmendurchführung als auch zwischen den Ausführungen von Maßnahmen berücksichtigt werden.¹⁷

Sobald die Strukturen, Prozesse, Modelle und Strategien festgelegt sind, werden sie regelmäßig auf ihre Gültigkeit überprüft und nur bei Bedarf aktualisiert. Sie werden in der Regel wesentlich seltener aktualisiert als z.B. die Häufigkeit der Bestimmung von Maßnahmenprogrammen.

Dieser Teilprozess endet mit den festen Strukturen, Prozessen, Modellen und Strategien, die zur Entwicklung der zu verfolgenden Überwachungs- und Maßnahmenprogramme verwendet werden.

2.3 Überwachungsprogramme erstellen

Dieser Teilprozess ist ein iterativer Prozess, der Folgendes umfasst:

- die Identifizierung der Objekte, an denen eine Überwachungstätigkeit durchgeführt werden soll, unter Berücksichtigung des tatsächlichen und der zu verfolgenden Strategie,
- Der Aufbau von Kandidatenüberwachungsprogrammen, die Bottom-up oder Top-down durchgeführt werden können,
- die Überprüfung der Durchführbarkeit der Kandidatenüberwachungsprogramme, z.B. sind genügend Personen und Ausrüstung vorhanden, gibt es mögliche Synergien mit anderen Arten von Aktivitäten?
- die Bestimmung des optimalen Überwachungsprogramms.

Das Ergebnis dieses Teilprozesses sind implementierbare Überwachungsprogramme. Ein Beispiel für Arbeiten zur automatisierten Ermittlung optimaler Überwachungsprogramme ist z.B. ¹⁸.

2.4 Überwachungstätigkeiten durchführen

Dieser Teilprozess umfasst alle Aktivitäten nach der Entwicklung des Überwachungsprogramms, um die Überwachungstätigkeit durchzuführen und zu überprüfen, ob die Überwachungstätigkeit zufriedenstellend durchgeführt wurde. Um eine erfolgreiche Automatisierung dieses Teilprozesses zu gewährleisten, müssen die Erwartungen an die Überwachungsaktivitäten klar definiert werden, z.B. die Kosten und die Genauigkeit der Informationen. Einige Arbeiten zur Automatisierung von Aktivitäten beinhalten Arbeiten, die in den Bereichen der Robotik durchgeführt wurden.¹⁹

2.5 Maßnahmenprogramme erstellen

Dieser Teilprozess umfasst folgende Aktivitäten:

¹⁶ Adey/Lethanh/Kielhauser (2014a)

¹⁷ z.B. Adey et al. (2014)

¹⁸ Konakli/Sudret/Faber (2015)

¹⁹ z.B. Kielhauser/Romer/Adey (2017)

- Die Identifizierung der Objekte, auf denen entsprechend dem aktuellen Zustand und der Maßnahmenstrategien eingegriffen werden sollte.
- Die Konstruktion von Kandidaten-Maßnahmenprogrammen, die entweder Bottom-up oder Top-down durchgeführt werden können.
- Die Überprüfung der Durchführbarkeit der Kandidaten-Maßnahmenprogramme, z.B. sind genügend Personen und Geräte vorhanden, sind Synergien möglich?
- Die Bestimmung des optimalen Maßnahmenprogramms, d.h. desjenigen, dass das optimale Servicelevel bietet.

Maßnahmenprogramme umfassen die Maßnahmen, die an Objekten unter Berücksichtigung von Externalitäten durchzuführen sind, wie z.B. die Zustände anderer Anlagen innerhalb desselben Netzes oder anderer Anlagen in anderen Netzen. Die Berücksichtigung von Externalitäten führt zu Abweichungen von Maßnahmenprogrammen, die sich ergeben würden, wenn optimale Maßnahmenstrategien ohne Berücksichtigung von Externalitäten verfolgt würden. Befindet sich ein Objekt beispielsweise nicht in einem Zustand, in dem die Maßnahmenstrategie die Durchführung der Maßnahme beinhaltet, sondern ein Teil des Netzes aufgrund der Durchführung anderer Maßnahmen bereits geschlossen ist, kann auch eine Maßnahme auf diesem Objekt durchgeführt werden.

Die Entwicklung optimaler Maßnahmenprogramme ist abhängig von der Lage der Objekte in den Netzen und dem Zeitpunkt der Maßnahmen an den Objekten. Die Ermittlung optimaler Maßnahmenprogramme erfordert Kompromisse und Abweichungen von den theoretisch optimalen Maßnahmenstrategien.

Die Erstellung möglicher Maßnahmenprogramme erfordert gute Fachkräfte und Organisationen mit Strukturen, die sowohl Kooperation als auch Innovation fördern. Eine der besonderen Herausforderungen bei der Erstellung solcher Programme, die Maßnahmen angemessen berücksichtigen, ist, dass sie Verständnis erfordern

- wie das Infrastrukturobjekt angepasst werden muss oder könnte, um sicherzustellen, dass es ein angemessenes Serviceniveau bietet,
- die mit der Durchführung von Maßnahmen verbundenen Kosten und deren Veränderung im Laufe der Zeit,
- und wie sie sich gleichzeitig auf die Durchführung anderer Maßnahmen auswirken.

Die Komplexität der Generierung möglicher Programme nimmt mit der Größe der IM-Organisation zu, da es eine zunehmende Arbeitsteilung gibt, d.h. verschiedene Personen sind für verschiedene Arten von Objekten verantwortlich. Diese Schwierigkeit lässt sich jedoch durch klare Vorgaben, wie Informationen zu aggregieren sind und wie zu entscheiden ist, welche Maßnahmen in die Programme aufgenommen werden sollen, überwinden.

Traditionell wurden Maßnahmenprogramme durch Verhandlungen zwischen diesen Personen entwickelt. Zunehmend werden aber auch Computer eingesetzt. Im Laufe der Zeit werden die verwendeten Algorithmen immer ausgefeilter.²⁰

²⁰ z.B. Kielhauser/Martani/Adey (2018)

Dieser Teilprozess beinhaltet auch die Sicherstellung der Finanzierung zur Umsetzung der Programme, die Sicherstellung, dass alle gesetzlichen Anforderungen erfüllt werden und genügend Personal für die Umsetzung des Programms zur Verfügung steht.

2.6 Maßnahmen planen und durchführen

Dieser Teilprozess umfasst alle Aktivitäten von der Fertigstellung der Maßnahmenprogramme bis zur Überwachung der Maßnahmendurchführung. Er beinhaltet die Ausschreibung der Maßnahmen, die Prüfung der Anträge, die Auswahl der besten Unternehmen für die Durchführung der Maßnahmen, die Planung der Maßnahmen, die Kommunikation mit den Stakeholdern und alle anderen Projektmanagementaktivitäten.²¹

2.7 Effektivitätsanalyse

Dieser Teilprozess umfasst die Analyse der Effektivität von Überwachungsaktivitäten und Maßnahmen. Die Wirksamkeit der Überwachungstätigkeiten wird analysiert, um die tatsächlich durchgeführten Überwachungstätigkeiten mit den Erwarteten hinsichtlich ihrer Kosten und der Genauigkeit ihrer Ergebnisse zu vergleichen. Die Wirksamkeit der Maßnahmen wird analysiert, um die tatsächlich durchgeführten Maßnahmen mit den Erwarteten hinsichtlich ihrer Kosten und ihrer Auswirkungen auf die Infrastruktur zu vergleichen. Die Ergebnisse können verwendet werden, um bestehende Überwachungsprogramme zu modifizieren, aber auch, um die in den Prozessen verwendeten Informationen zu aktualisieren, um SL-Ziele und Rahmenbedingungen, Prozesse, Modelle und Strategien festzulegen. Eine wesentliche Komponente zur Automatisierung dieses Teilprozesses ist die Definition, wie Effektivität zu messen und zu berichten ist und wie die Informationen zu verwenden sind.²²

2.8 Prozessanalyse

Im Teilprozess Prozessanalyse werden alle Aktivitäten des Prozesses und die Funktionsweise des Gesamtprozesses überprüft, um sicherzustellen, dass er wie erwartet funktioniert und ob Verbesserungen möglich sind. Werden Abweichungen festgestellt, sollte entweder der Prozess modifiziert werden oder der Prozess sollte tatsächlich wie vorgesehen ausgeführt werden. Wenn mögliche Verbesserungen gefunden werden, sollte das Verfahren modifiziert werden, wenn der Nutzen der Modifikation die Kosten überwiegt.²³

3 Zusammenfassung

Infrastrukturmanagement ist ein wichtiger Prozess, der jedoch erhebliche menschliche Anstrengungen erfordert und für menschliche Interpretationen offen ist. Im Laufe der Zeit wird dieser Prozess zunehmend automatisiert, so dass die Gesellschaft ihren Nutzen aus ihrer Infrastruktur maximieren und gleichzeitig den menschlichen Aufwand reduzieren kann. Der in diesem Beitrag vorgestellte komplette High-Level-Prozess soll genutzt werden, um diese Automatisierung des IM zu ermöglichen. Er sollte von den Infrastrukturmanagern genutzt

²¹ z.B. Jin/Le (2014)

²² z.B. Li/Uhlmeier/Mahoney (2013)

²³ z.B. Richmond/Kielhauser/Adey (2016)

werden, um ihren eigenen, detaillierteren Prozess einzurichten und um sicherzustellen, dass sich alle Beteiligten über die Aktivitäten und die Gründe dafür einig sind.

Literaturverzeichnis**Adey/Hajdin/Birsall (2009)**

Adey, B.T., Hajdin, R., Birsall, J., Methodology to determine optimal intervention strategies for structures adversely affected by latent processes, Transportation Association of Canada, Annual Conference, Vancouver, Canada, October 19-22, 2009

Adey/Klatte/Kong (2010)

Adey B.T., Klatte, L., Kong, J., , The IABMAS Bridge Management Committee Overview of Existing Bridge Management Systems, 2010

Adey/Lethanh/Kielhauser (2014a)

Adey, B.T., Lethanh, N., Kielhauser, C., A comparison of the suitability of age replacement, block replacement and Markov models in the determination of optimal intervention strategies for road infrastructure in alpine regions, Brenner Congress 2014, Innsbruck, Austria, Feb 20-21, 2014

Adey/Lethanh/Kielhauser (2014b)

Adey, B.T., Lethanh, N., Kielhauser, C., Comparison of three preventive models to determine optimal intervention strategies for transportation infrastructures in alpine regions, Architecture, Engineering and Construction, 3:3, 2014, September, S. 153-167

Adey et al. (2014c)

Adey, B.T., Lethanh, N., Hartmann, A., Viti, F., Evaluation of intervention strategies for a road link in the Netherlands, Built Environment Project and Asset Management, 4:2, 2014, S. 180 – 198.

Adey (2017)

Adey, B.T., A process to enable the automation of road asset management, 2nd International Symposium on Infrastructure Asset Management – Siam 2017, Zurich, June 29-30, 2017

Deublein et al. (2015)

Deublein, M., Schubert, M., Adey, B.T., Garcia de Soto, B., A Bayesian Network Model to Predict Accidents on Swiss Highways, Infrastructure Asset Management. 2(4), 2015, S. 145–158

ISO55001 (2014)

ISO55001, Asset management – Management systems – Requirements, ISO copyright office, Geneva, Switzerland, 2014

Jin/Le (2014)

Jin, X.H., Le, Y., Monitoring construction projects using information technologies, Proceedings of the 17th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, 2014, S. 1011-1020

Johnson (1999)

Johnson, P., Fault tree analysis of bridge failure due to scour and channel instability, Journal of Infrastructure Systems, 1999, Vol. 5, No. 1, March

Kielhauser/Romer/Adey (2017)

Kielhauser, C., Romer, F., Adey, B.T., Preliminary estimates of the viability of UAV-based bridge inspections in Switzerland, Fourth Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures, SMAR 2017, Zurich /Switzerland, 13 – 15 September, 2017

Kielhauser/Martani/Adey (2018)

Kielhauser, C., Martani, C., Adey, B.T., Development of intervention programs for inland waterway networks using genetic algorithms, Structure and Infrastructure Engineering, 2018, Volume 14:5, S. 550-564

Konakli/Sudret/Faber (2015)

Konakli, K., Sudret, B., Faber, M.H., Numerical Investigations into the Value of Information in Lifecycle Analysis of Structural Systems Asce-asme Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering, Volume 2, Issue 3, 2015

Li/Uhlmeier/Mahoney (2013)

Li, J., Luhr, D. R., Uhlmeier, J.S., Mahoney, J. P., Evaluation of maintenance effectiveness for WSDOT pavement network, Transportation Research Record, 2013

OECD (2001)

OECD, Asset Management for the Roads Sector, OECD Publications Service, Paris, France, 2001

Richmond/Kielhauser/Adey (2016)

Richmond, C., Kielhauser, C., Adey, B.T., Developing performance measures for road network managers facing diverse environments, Benchmarking an international journal, 2016, 23:7, S. 1876-1891